



ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Atte Vuorio

Infrahankkeiden ja työmaiden valmis- telu mittauksen näkökulmasta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

09.03.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Atte Vuorio Infrahankkeiden ja työmaiden valmistelu mittauksen näkökulmasta 23 sivua 09.03.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Ilkka Partonen
<p>Tämän insinöörityön tarkoitus oli tutkia infra-alan hankkeiden ja työmaiden valmistelua mitauspuolen näkökulmasta. Tavoitteena oli selvittää infrahankkeiden ja työmaiden perustamiseen liittyviä valmisteluja sekä vaadittavia töitä mittauksen kannalta. Ilman toimivaa mitausosastoa ja vaadittavien asioiden valmistelua ei työmailla ole edellytyksiä toimia ja rakentaa laatuvaatimusten mukaisesti.</p> <p>Rakentamisessa vaadittavaan laadun täyttämiseksi tarvitaan muutakin kuin rakentamisvaiheessa olevaa maastomittaajaa sekä heidän ottamia tarkkeita. Jotta maastomittaajilla on tarvittavat edellytykset tarkkoihin mittauksiin, on ennen töiden aloitusta huolehdittava muun muassa oikeellinen kiintopisteverkko, eli mittausperusta sekä tuottaa ja tarkistaa käytettävät suunnitelmat. Nykyaikana myös yhä enemmän koneohjausjärjestelmien tuleminen rakennustyömaille ja niiden toimiminen mittalaitteina vaatii mittauspuolelta useita huomioon otettavia asioita järjestelmien toimivuuden sekä laadun varmistamiseksi. Tässä työssä on selvitetty tarkemmin mitä toimenpiteitä vaaditaan ja millä varmistetaan infratyömaiden laadullinen tekeminen.</p>	
Avainsanat	infrahanke, infratyömaa, valmistelu

Author Title Number of Pages Date	Atte Vuorio Land Surveyor's Point of View into Preparation of Infrastructure Worksites 23 pages 9.3.2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Ilkka Partonen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to examine the preparation of infrastructure projects and worksites from the point of view land surveyors. The goal was to find out the necessary tasks and preparations that ensure that land surveyors can do their work. The thesis established that to meet the quality standards it is necessary to take more measurements than just a simple mapping. It was shown that to ensure a surveyor is able to perform reliable and accurate measurements, for example the net of reference points and valid plans must be checked. Furthermore, the increasing use of machine control systems on the worksites was shown to require the consideration and preparation ensuring the quality. The thesis explained more closely what actions are needed to guarantee the quality of infrastructure worksites.</p>	
Keywords	infrastructur worksites, preparation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Infrahankkeen aloitusprosessi	3
2.1	Määrien laskenta	4
	Infrahankkeiden määrien laskentaan voivat kuulua muun muassa:	4
2.1.1	Yhdistä mallit -menetelmä	5
2.1.2	Ruutumassat -menetelmä	6
2.1.3	Poikkileikkausmenetelmä	6
2.1.4	Menetelmien käyttö	6
2.2	Suunnittelu	8
2.2.1	Lähtötietoaineisto	8
2.2.2	Mittausdatan hyödyntäminen suunnittelussa	8
2.2.3	Maastomalli	9
3	Mittausperusta	10
3.1	Mittausperustan muodostuminen	10
3.1.1	Lähtöpisteet	10
3.1.2	Mittausperustan rakenne	12
3.2	Mittausperustan mittaaminen	12
3.2.1	Tasorunkomittaus	12
3.2.2	Korkeudenmittaus	13
4	Työmaan mallipohjaisentuotannon valmistelu	14
4.1	Työkoneohjaus	15
4.2	Koneohjauksen valmistelu työmaalle	16
4.3	Tiedonhallintaa ja dokumentaatio	18
5	Yhteenveto	20
	Lähteet	22

Lyhenteet

EUREF-FIN Kansallinen koordinaattijärjestelmä, joka on saatu ETRS89-datumin realisoinnin tuloksena. Suomessa ETRS89 realisoitu GPS-mittausten avulla, ja tästä realisaatiosta käytetään nimitystä EUREF-FIN

GNSS Yleisnimitys maailmanlaajuisille satelliittipaikannusjärjestelmille

InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset

JHS 184 Julkisen hallinnon suositukset: Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä

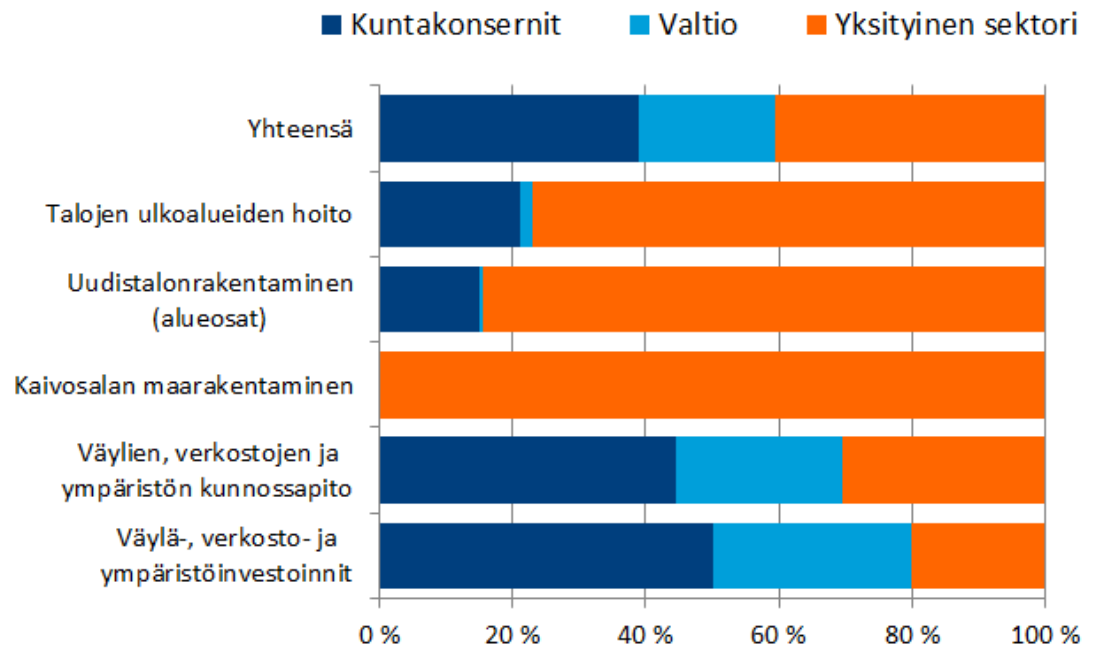
RTK Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus. Satelliittipaikannuksen mittausmenetelmä

YIV Yleiset inframallivaatimukset

1 Johdanto

Infraan kuuluvat muun muassa kaikki tekniset rakennelmat kuten kadut, tiet, radat, tunnelit ja sillat sekä terminaalit ja satamat. Tähän kuuluvat maan alla menevät tekniset verkostot, joissa kulkee vesi, lämpö, sähkö ja tieto sekä maanpäälliset virkistysalueet. Näitä kaikkia rakennetaan ja kunnostetaan Suomessa n.9 miljardilla eurolla. Suurimmat tilaajat ovat kunta ja valtio kuten kuvan 1 kaaviosta käy ilmi käy ilmi. Näillä rakennus- ja kunnostustyömailla myös maanmittaajien ammattitaito on todella tärkeässä osassa.

Infrarakentamisen sektorit ja tilaajat



Lähde: Tilastokeskus ja VTT

Rakennusteollisuus

10.12.2019

Kuva 1. Kaavio infra-alan osa-alueista sekä tilaajista [12].

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus perehtyä infra-alan hankkeiden valmisteluihin sekä työmaiden perustamiseen mittauksen näkökulmasta. Pääpaino on keskisuurissa ja suurissa hankkeissa, joissa oletetaan tekemisen olevan monogeenisempää ja käytössä on

myös laajemmin muun muassa YIV ohjeistus ja InfraRYL. Näin ollen myöskin mittauspuolen vaatimusten osalta vaatimukset ovat yhdenmukaisempia. Pienimmissä hankkeissa ja hieman myöskin tilaajan mukaan saatetaan poiketa tietyistä standardeista ja toimintatavoista. Tarkoituksena on käsitellä näiden osalta tarkemmin työmaan perustamiseen liittyviä vaatimuksia, toimintatapoja sekä ohjeita ja määräyksiä hankkeilla ja työmailla mukana olevien mittausalan tekijöiden näkökulmasta. Työn tuloksena ja yhtenä tavoitteena onkin olla eräänlainen ohjeistus ja muistilista työmaiden perustamiseen, joka antaa tietoa ja ohjeistusta vaadittavista prosesseista ja menetelmistä. Opinnäytetyö antaa vastauksia kysymyksiin mitä, miten, miksi ja milloin tulee tehdä ja tapahtua perustamisprosessissa, jotta työmaalla on valmiudet mittauspuolen osalta aloittaa rakentaminen toteuttaa kaikki mittauspuolelta vaadittavat työt.

Infra-alalla maanmittaajien ammattitaitoa tarvitaan koko hankekaaren aikana, ja kuten kaikki muukin työ, se vaatii edellytykset töiden tekemiseen. Jotta maastomittaajan työ on mahdollisimman sujuvaa, luotettavaa sekä laatuvaatimukset täyttävää, edellyttää se että, työmaan aloitusvaiheessa on täytynyt luoda puitteet sille, että esimerkiksi työmaalla suoritettut takymetrimittaukset ovat sidottu mittausperustan kautta valtakunnalliseen koordinaatistoon tai vaikkapa että työmaalla toimivat työkoneohjausjärjestelmiä käyttävät työmaakoneet saavat haltuunsa viimeisimmät ja oikeelliset mallit ja että niiden sijainti ja korkomittaustarkkuus toimii vaadituissa toleransseissa.

2 Infrahankkeen aloitusprosessi

Infrahankeiden aloitus lähtee tilaajan tarpeesta rakentaa uutta infrarakennetta tai laajentaa jo olemassa olevaa. Myös olemassa olevia infrarakenteita korjataan ja uudistetaan. Ennen kuin tehdään varsinainen rakentamispäätös, käydään läpi tarveselvitysvaihe, hankeselvitysvaihe ja rakennussuunnitteluvaihe, joiden perusteella rakentamispäätös tehdään. Tarveselvitysvaiheessa tutkitaan hankkeen tarpeellisuus, edellytykset ja toteuttamismahdollisuudet. Hankeselvityksessä tutkitaan mahdolliset toteuttamisvaihtoehdot sekä arvioidaan hankkeen toteuttamismahdollisuus. Näistä kootaan tulokset sekä tehdään hankesuunnitelma, johon on määritetty hankkeen kustannustaso sekä aikataulu pohjautuen asetettuihin laajuus- ja laatutavoitteisiin. Tämän jälkeen alkaa rakennussuunnitteluvaihe, joka on jaettu kahteen eri osaan, luonnossuunnitteluun sekä toteutussuunnitteluun. Luonnossuunnitteluvaiheessa määritetään kohteen suunnitteluratkaisu, tekniset järjestelmät sekä toteutustapa. Toteutussuunnitteluvaiheessa puolestaan laaditaan hankinta-asiakirjat sekä piirustukset, päätetään hankkeen urakointitapa sekä valmistellaan hankinnat ja tehdään rakentamispäätös. Varsinkin rakennussuunnittelu vaiheessa myöskin mittaustyö ja aiemmin kerätty mittausdata ovat tarpeellinen osa suunnitteluvaihetta ja suunnittelutyötä. [1.]

Yleisesti isoissa infrahankeissa urakoitsijat kilpailutetaan. Kilpailutuksella on tarkoitus löytää paras toteuttaja hankkeelle vertailemalla eri toteuttajia. Vertailussa voidaan painottaa muun muassa hintapyyntöjä ja kyvykkyyttä, kuten yksi suuri infra-alan tilaaja Liikennevirasto tekee. [2] Liikenneviraston mallissa kyvykkyys on jaettu useampaan eri kokonaisuuteen (Kuva2).



Esimerkki valintaperusteista

Arviointikohde		Painoarvo			
		Vaihe 2		Vaihe 3	
		Yht.	Osa	Yht.	Osa
A.	Kyvykyys	100,00 %		75,00 %	
A1.	Hankkeen toteuttamissuunnitelma ja organisaatio	25,00 %		10,00 %	
	A1.1 Hankkeen toteuttamissuunnitelma ja organisaatio		25,00 %		10,00 %
A2.	Näytöt tuloksellisesta toiminnasta	35,00 %		10,00 %	
	A2.1 Näyttö tuloksellisesta toiminnasta avaintulosalueella		25,00 %		10,00 %
	A2.2 Virheistä oppiminen		10,00 %		Ei arvioida
A3.	Arvoa rahalle	40,00 %		30,00 %	
	A3.1 Hankkeen tavoitekustannuksen asettaminen		25,00 %		15,00 %
	A3.2 Tilaaajan kustannusarvion tarkastelu		15,00 %		15,00 %
A4.	Allianssikyky ja johtaminen	0,00 %		25,00 %	
	A4.1 Allianssin johto- ja projektiryhmän johtamiskyky ja tarjoajan allianssikyvykyys		Ei arvioida		25,00 %
B.	Hinta			25,00 %	
B1.	Hinta		Ei arvioida		25,00 %
	A + B yhteensä	100,00 %		100,00 %	

tunneli
KAUPUNGIN KAIVU- JA MAANKAIVU-ALUE



Kuva 2. Liikenneviraston esimerkkitaulukko tarjousvaiheen valintaperusteista [2].

Toteuttajat tekevät omat laskelmansa työn hinnasta, jonka he ilmoittavat tilaajalle. Tätä vaihetta tarjousvaiheessa kutsutaan tarjouslaskennaksi. Tarjouslaskennassa yksi osa-alue sisältää erilaisten määrien laskentaa mm. maakaivuita ja kaivantojen täyttöjä sekä materiaaleja. Tarjouslaskennassa kuten myös urakoitsijan työsuunnittelussa sekä työn aikana määrien seurannassa myös maanmittareiden ammattitaitoa ja työkaluja käytetään hyödyksi. Seuraavissa luvuissa käsittelen aihetta tarkemmin.

2.1 Määrien laskenta

Infrahankkeiden määrien laskentaan voivat kuulua muun muassa:

- maankaivuu määrät
- kaivantojen täyttöjen määrät
- päällysrakenteiden poistot ja rakentaminen

- louhintamäärät
- erilaisten putkitusten määrät
- mahdollisten maalausmerkintöjen laskentaa

Yhtenä hyvänä vaihtoehtona määrälaskuihin on suomalaisen 3D-system Oy:n kehittämä 3D-Win-ohjelmisto, joka on maastomittaustiedon tuottamiseen ja käsittelyyn tarkoitettu ohjelmisto, ja siitä löytyy myös lisäominaisuutena erilaiset laskenta työkalut, joita olen itsekin käyttänyt määrien laskennassa. Määrien laskennassa halutut määrät ovat usein tilavuuksia, pinta-aloja tai pituuksia. Pituus ja pinta-ala laskelmat ovat usein tehtävissä 3D-Win-ohjelmiston perustyökaluilla. Näillä voidaan laskea putkilinjojen pituuksia, maalausmerkintöjen pituuksia ja poistettavien ja rakennettavien pintarakenteiden pinta-aloja sekä muita mahdollisia laskettavia pituus ja pinta-ala kohteita.

Ylempänä olevasta listasta maankaivuiden ja kaivantojen täyttöjen laskennassa halutaan tietää tilavuuksina poistettavien ja täytettävien maa-ainesmassojen määrät. Tätä varten 3D-Win ohjelmassa on kolme erilaista massalaskentatyökalua, nämä ovat:

- Yhdistä mallit -menetelmä
- Ruutumassat -menetelmä
- Poikkileikkausmenetelmä

Nämä kaikki menetelmät perustuvat yksinkertaistettuna halutuista kohteista tehtäviin maastomalleihin, joita sitten verrataan keskenään. Maastomallien luontia varten, kuten koko määrien laskentaa varten, on tärkeää, että saatavilla on asianmukainen lähtö- ja suunnitteluaineisto. Lähtö- ja suunnitteluaineistoja käsitellään tässä työssä vielä myöhemmin.

2.1.1 Yhdistä mallit -menetelmä

Tällä menetelmällä tilavuus saadaan laskettua nopeasti ja absoluuttisen tarkasti kahden maastomallin väliltä. Menetelmä perustuu siis kahden maastomallin pintojen yhdistämiseen, jolloin sovelluksella saadaan laskettua näiden mallien väliin jäävä tilavuus. [3, s. 39]

2.1.2 Ruutumassat -menetelmä

Myös ruutumassatmenetelmä on nopea mutta ei välttämättä niin tarkka kuin yhdistä mallit -menetelmä. Ruutumassat-menetelmä perustuu samalla tavoin mallien yhdistämiseen, mutta tässä menetelmässä voidaan laskea useampia pintoja kerrallaan ja ohjelma jakaa pinnat määrätyn kokoisiin ruudukoihin. ”Jokaisessa ruudukon pisteessä lasketaan kaikista malleista korkeuspiste ja näiden korkeuserojen perusteella kyseisen ruudun massat”. Tästä voidaankin jo päätellä, että ruutukokoa muuttamalla myös lopputulos muuttuu hieman. [3, s. 40]

2.1.3 Poikkileikkausmenetelmä

Poikkileikkausmenetelmä eroaa kahdesta aiemmasta siinä, että se laskee määrätyn tilavuuden tekemällä poikkileikkauksia ja käyttämällä näiden poikkileikkausten pinta-aloja laskentaan. Kuten ruutumassat-menetelmässä, tässäkin voidaan laskea useampia pintoja kerrallaan. Poikkileikkausmenetelmässä ohjelma muodostaa poikkileikkaukset laskettavista pinnoista mittalinjan paaluvälin muukaan ja laskee kullekin poikkileikkaukselle pinta-alan. Tämän jälkeen ohjelma laskee jokaisen paaluvälin massat käyttäen puoleen väliin edellistä ja seuraavaa poikkileikkausta. Siten seuraavan poikkileikkauksen pinta-ala kertaa puolet paaluvälistä yhdistettynä edellisen poikkileikkauksen pinta-ala kertaa puolet paaluvälistä. Näin ollen tulokset ovat riippuvaisia luodun mittalinjan paaluvälistä. Menetelmä luo poikkileikkaukset mallien alueelta ja näin ollen samalla voidaan tarkistaa mallien oikeellisuutta ja karsia mahdollisia virheitä maastomalleista. [3, s. 41]

2.1.4 Menetelmien käyttö

Käytettävästä menetelmästä riippumatta on suotavaa tarkistaa saatu tulos käyttämällä myös vähintään toista menetelmää. Näin voidaan parantaa tuloksen luotettavuutta, mikäli kaksi eri menetelmää antaa samaa suuruusluokkaa olevia tuloksia.

Jokaiseen menetelmään on olemassa yhteisiä asetuksia sekä huomioon otettavia asetuksia. Yksi huomioon otettava asia on maastomallien pintojen koodaus. 3D-Win-ohjelmassa on oletuksena pintatunnuksia eri maalaji ja rakennekerroksille. Pinnat tulee koodata näiden mukaan ja ne sisältävät tiettyjä lainmukaisuuksia, mm. mikään maalaji

pinnaksi koodattu maastomalli ei saa olla kalliopinnaksi koodatun maastomallin alla. [3, s.35]

Jo tehtyjä maastomalleja voidaan kaikissa laskentamenetelmissä rajata, niin että massat lasketaan vain halutulta alueelta, vaikka itse maastomallit olisivatkin laajempia. Tätä varten tarvitaan oma rajaustiedosto, joka on yksinkertainen vektoritiedosto, mikä sisältää yhden tai useamman sulkeutuvan viivan, joiden sisältävä alue tällöin lasketaan. Muita asetuksia ovat:

- m^2 -raja ja kaltevuus, joilla säädellään kalliolouhinnan laskentaa
- vinopinta-ala, joka laskee kaikkien pintojen vinopinta-alat
- massat rajausviivoille
- desimaalit
- taulukkomuoto
- alueet eriteltynä.

[3, s. 36]

Näillä edellä mainituilla menetelmillä on siis mahdollista suorittaa massalaskentoja työmaan suunnittelun sekä seurannan tueksi. Saatujen määrien mukaan voidaan tehdä arviota ennen työmaan alkua ja jo tarjouslaskentavaiheessa ensinnäkin tarvittavien materiaalien määristä ja sitä myötä kustannuksista sekä itse työn suorittamisen kustannuksista. Oikein lasketut määrät ovat tarkempia ja luotettavampia kuin esimerkiksi pelkistä PDF-kuvista lasketut määrät, jolloin tämä laskentaprosessi luo tarjousta tekevälle yritykselle enemmän turvaa ja tarkempia ennustuksia tarjouslaskennan määrien oikeellisuudesta. Myös voitettun tarjouksen jälkeen on mahdollista, että määriä tulee tarkastella uudestaan työnsuunnitteluun tai vaikka suunnittelijoilta tulevien massojen vertailua varten.

Useat mittausalan yritykset tarjoavat massa- ja määrälaskentaa osana palveluitaan ja isoimmilla rakennusalan firmoilla saattaa olla omassa henkilökunnassaan maanmittausalan ammattilaisia, jotka voivat suorittaa näitä laskentoja.

2.2 Suunnittelu

2.2.1 Lähtötietoaineisto

Lähtötietoaineisto sisältää kokoelman käytössä olevista lähtötiedoista sekä se on myös standardisoitu tapa lähtöaineiston kokoamiseen, muokkaamiseen ja hallintaan. Se on siis kokoelma eri tietolähteistä saaduista tai mitatuista tuotteiden, toiminnan ja palveluiden lähtöaineistoista, jotka on kerätty suunnittelua varten. Lähtötietoaineiston on myös aina digitaalisessa muodossa olevaa ja kerättyä tietoa. Suunnitteluprosessissa aineistojen tarkkuudelle ja luotettavuudelle asetetaan iso painoarvo, onkin tärkeää, että lähtöaineistoihin dokumentoidaan aineiston alkuperä- ja metatiedot, sekä raaka-aineelle suoritettavat muokkaustoimenpiteet. Lähtötietoaineistoa päivitetään hankkeen rakennus ja suunnitteluvaiheiden mukaan esimerkiksi uusien maastomittausten myötä. Lähtötietoaineisto on suunnittelua ja itse rakentamistakin varten, joten tavoitteena pyritään pitämään sitä, että se on valmiina jo ennen suunnitteluprosessin käynnistymistä. [4, s. 38; s. 58]

2.2.2 Mittausdatan hyödyntäminen suunnittelussa

Suunnitteluvaiheessa käytetään lähtötietoaineistoa ja sen sisältämää tietoa nykyisten ja uusien rakenteiden ja varusteiden suunnittelemiseen. Esimerkiksi uusien vesihuoltojärjestelmien suunnittelussa tulee tarve tietää, missä vanhat vesihuoltolinjat ja kaivot sijaitsevat. Näin voidaan suunnitella tarpeen mukaan uudet linjat sekä poistaa vanhaa käytöstä. Myös tasauksen suunnittelussa lähtötietoaineisto, ja siihen sisältyvä maastomalli, sekä myös maaperämalli on merkittävässä osassa suunnittelua. [4, s. 38] Näiden mallien avulla voidaan suunnitella esimerkiksi tulevaa tielinjasta niin, että optimoidaan se mahdollisimman hyvin jo nykyiseen maanpintaan. Eli käytännössä tarkoittaa sitä, että voidaan estää turhan suuria maankaivuita/louhintoja tai rakennekerrosten täyttöjä, joka puolestaan tuo suoraan taloudellista säästöä hankkeelle, vertailemalla tiesuunnitelmaa maaston olemassa olevaan tilanteeseen. [5, s.5] Maastomallista ja sen toteuttamisesta kerrotaan vielä seuraavissa luvuissa lisää.

Lähtötietoaineistoa ja sen sisältämiä lähtöaineistoja käytetään siis kaikkeen suunnitteluun ja eteen voikin tulla tilanteita, joissa lähtötietoaineistoa kootessa tai itse suunnitteluvaiheessa tulee ilmi, että lähtöaineisto on puutteellinen ja sitä tulee täydentää

esimerkiksi maastomittauksilla, ilmakuvausilla tai laserkeilaamalla. Myöskin suunnittelu ja rakennusvaiheessa voi tulla tilanteita, joissa suunnitelma ei "istu" maastoon tai on muuten vaikeasti toteutettavissa jolloin, tarvitaan mittaustyötä suunnitelman ja nykytilanteen yhteensovittamiseksi.

2.2.3 Maastomalli

Maastomalli on taiteviivoista, hajapisteistä sekä niiden ominaisuustiedoista koostuva ja digitaalisessa muodossa oleva aineisto, jota käytetään infrarakennustyömaan suunnitteluvaiheessa nykytilan maastonpintaa sekä olemassa olevia rakenteita esittävän lähtötietona. Maastomalli on myös osana lähtötietoaineistoa. Suunnitteluvaiheessa käytettävä maastomalli tulee olla sidottuna hankkeessa käytettävään mittausperustaan, jolloin se on myös sidottu hankkeessa käytettävään korkeusjärjestelmään sekä tasokoordinaatistoon. Maastomallin tulee olla mitattuna jo ennen suunnitteluvaihetta ja siihen saatetaan tehdä suunnitteluvaiheessa tarkistus- tai täydennysmittauksia suunnittelutarpeen mukaan. [4, s.38; 6, s.8-9]

3 Mittausperusta

Mittausperusta koostuu pysyväksi rakennetuista kiintopisteistä, jotka on tehty hankkeen alueelle. Näille kiintopisteille on laskettu geodeettisella laskennalla tasokoordinaatit sekä korkeudet. Mittausperustan avulla saadaan kaikki hankkeeseen kuuluvat maastomittaukset sidottua yhtenäiseen käytettävän tasokoordinaatistoon sekä korkeusjärjestelmään. Mittausperusta teko, mikäli hanke alueella ei ole jo olemassa olevaa mittausperustaa, tulee ajankohtaiseksi viimeistään silloin kun hankkeessa on alkamassa suunnitteluvaihe ja tarvitaan tarkkoja maastomalleja (maastomallit sidotaan mittausperustan avulla koordinaatistoon). Tämä ohjeistus on liikenneviraston "Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot Mittausohje" ohjeistuksesta, mutta pätee luonnollisesti myös muidenkin tilaajien hankkeisiin, mikäli halutaan tarkkoja sekä luotettavia maastomittauksia sekä lähtötietoaineistoa (maastomalli). Koska maastomittaus ja lähtöaineistojen tarkkuus sekä luotettavuus on hyvin monissa infrahankkeissa todella tärkeässä osassa, lähes aina jopa elintärkeässä osassa on syytä varmistaa, että hankkeelle tehdään uusi tai vastaavasti jo olemassa oleva mittausperusta tarkistetaan ja tehdään sen jälkeen tarvittavat toimenpiteet mittausperustan toiminnan varmistamiseksi. Seuraavissa luvuissa käsitellään hie- man tarkemmin mitä mittausperustan tekoon vaaditaan ja kuinka se mitataan. [6, s.10]

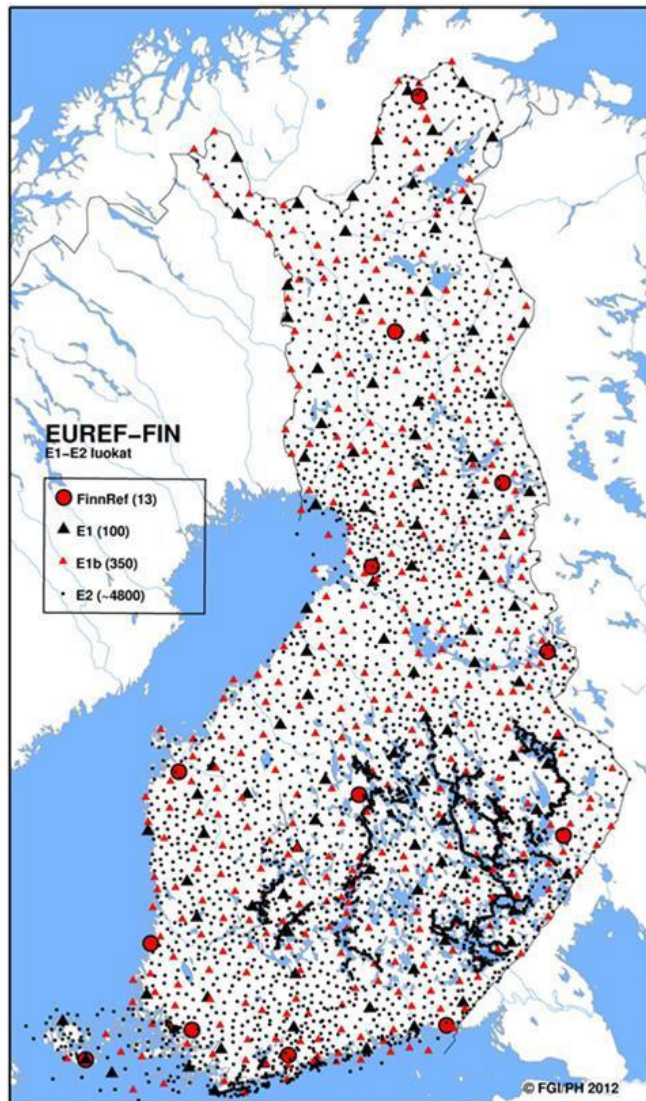
3.1 Mittausperustan muodostuminen

3.1.1 Lähtöpisteet

Mittausperusta on siis hankkeelle rakennettuja kiintopisteitä. Jotta nämä kiintopisteet saadaan sidottua tasokoordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään, tarvitaan mittausperustan tekemiseen lähtöpisteitä, joilla tämä liittyminen koordinaatistoon voidaan toteuttaa. Tällaisiksi lähtöpisteiksi on määritelty valtakunnalliset E1-E3-luokan kolmiopisteet, joilla on mitattuna EUREF-FIN mukaiset koordinaatit. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös jatkuvasti mittausdataa kerääviä pysyviä tukiasemia. Näillä tukiasemilla täytyy kuitenkin olla valtakunnallinen E1 tai E2 -luokitus. Koordinaatistoon liittäviä lähtöpisteitä tulee olla vähintään kolme kappaletta ja rakennettavan mittausperustan on jäätävä kokonaan näiden lähtöpisteiden muodostaman kuvion sisälle. Lähtöpisteiden tulee olla myös GNSS-

sopivuudeltaan luokiteltu erinomaisiksi tai hyväiksi. Pisteet tulee käydä myös tarkistamassa maastossa, jolloin GNSS-sopivuus saadaan varmistettua.

Korkeusmittaukseen käytetään omia lähtöpisteitä, jotka ovat valtakunnallisessa luokituksessa I-III -luokan korkeuskiintopisteitä. Tilaajan hyväksynnällä voidaan käyttää poikkeustapauksissa myös kuntien korkeuspisteitä, mikäli riittävän lähellä ei ole vaadittavia valtakunnallisia korkeuskiintopisteitä. [6, s. 10-11]



Kuva 3. Suomen valtakunnalliset EUREF-FIN järjestelmän mukaiset E1-E2 -luokkien kiintopisteet [13, s.7]

3.1.2 Mittausperustan rakenne

Yhdistetyt taso- ja korkeuskiintopisteet muodostavat siis mittausperustan. Mittausperustaan mitatut pisteet voidaan luokitella kaksitasoisesti. Ylemmän luokan pisteet ovat 1-1,5km välein mitattavia peruspisteitä, joita täydennetään 100- 400m välein mitattavilla, alemman luokan käyttöpisteillä. Vierekkäisten käyttöpisteiden välillä tulee olla näköyhteys. Myös mittausperustan kiintopisteiden, kuten lähtöpisteidenkin, tulee kattaa koko hankkeen alue niin että uloimmat pisteet ovat alueen ulkopuolella. [6, s. 11]

3.2 Mittausperustan mittaaminen

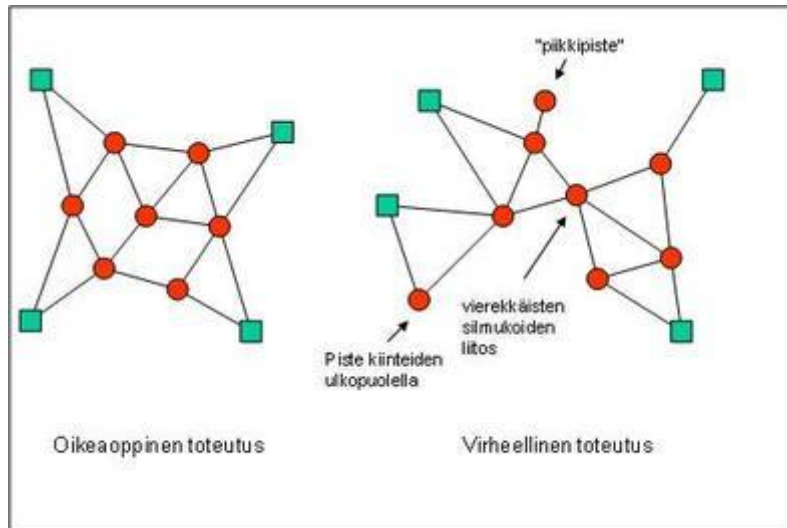
Ennen mittausten aloittamista on tehtävä mittausperustaa koskeva mittaussuunnitelma. Mittaussyunnitelmassa tulee olla esitettyä ainakin:

- Lähtöpistetiedot
- Mittaustapa ja kalusto
- Havaintojen suoritustapa
- käytettävät laskentamenetelmä ja -ohjelmat
- Mittausorganisaatio
- Numeerisessa muodossa olevat suunnitelmakartat, joilla esitetään:
 - Hankkeen aluerajaus
 - Lähtöpisteet
 - Suunnitellut peruspisteiden sijainnit
 - Suunnitellut käyttöpisteiden sijainnit

3.2.1 Tasorunkomittaus

Mittausperustan peruspisteiden sekä käyttöpisteiden tasokoordinaatit saadaan tasorunkomittauksella. Peruspisteiden runkomittaus tehdään staattisena GNSS-mittauksena. Näistä mittauksesta laaditaan mittauspöytäkirjat, josta selviävät piste kohtaiset havainnot, antennikorkeudet sekä mittausten suorittaja(t). Kun staattinen GNSS mittaus tehdään JHS184 suosituksen mukaisesti ja lähtöpisteinä käytetty E1-E3 luokan lähtöpisteitä saadaan epätarkimman lähtöpisteen tarkkuusluokkaa yhtä luokkaa alempia kiintopisteitä eli vähintään E4 luokan mukaisia peruskiintopisteitä. Käyttöpisteiden mittaus taas

suoritetaan lähtökohtaisesti takymetria käyttäen, ja lähtöpisteinä toimivat staattisella GNSS mittauksella tuotetut peruskiintopisteet. Näin tuloksena saadaan E5-luokan kiintopisteitä. [6, s.13; 13, s.16]



Kuva 4. Esimerkkikuva mittausperustan staattisesta GNSS-mittauksesta, jossa vihreät neliöt ovat lähtöpisteitä ja punaiset määritettäviä peruspisteitä [13, s.10].

3.2.2 Korkeudenmittaus

Peruspisteiden ja käyttöpisteiden korkeuden määrittäminen tehdään pääsääntöisesti vaaitsemalla. Vaaituksessa on käytettävä vähintään kahta korkeuskiintopistettä. Vaaitus voidaan tehdä joko jonovaaituksella tai linjavaaituksella. Mikäli hankkeesta riittävän lähellä ei sijaitse yhtään korkeuskiintopistettä tai työturvallisuuden kannalta vaaitus ei ole mielekäs vaihtoehto, voidaan korkeudet määrittää trigonometrisesti takymetri mittauksella tai staattisella GNSS- mittauksella. [6, s.13-14]

Kaikki tarkat tiedot, vaatimukset ja mittausohjeet mittausperustan mittauksissa käytettäviin menetelmiin sisältyvät JHS184-suositukseen.

4 Työmaan mallipohjaisentuotannon valmistelu

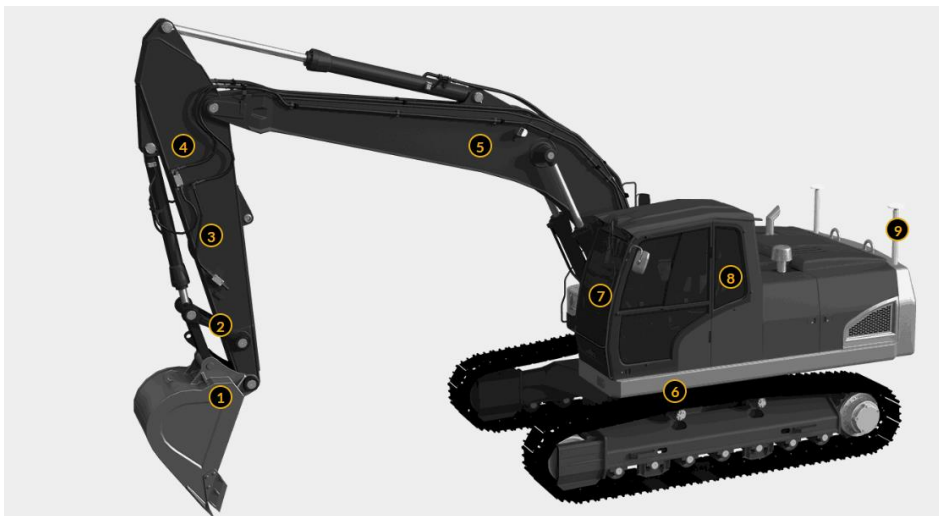
Mallipohjaisella tuotannolla tarkoitetaan hankkeen ja sitä toteuttavan urakoitsijan sekä suunnittelutoimistojen toimimista mallipohjaisesti, kuten sen nimestäkin voidaan jo päätellä. Tarkemmin sanottuna koko hankkeen organisaatio (tilaaja, suunnittelu, urakoitsija) toteuttaa infrahankkeen hyödyntäen tietomallinnusta, 3D-rakentamista eli 3D-koneohjausjärjestelmien käyttöä sekä hankkeen tiedonhallinta on organisoitua ja tieto on saatavilla hankkeen kaikilla toimijoilla.

Mallipohjaisessa tuotannossa urakan toteuttaja organisaatiossa on oltava ”tuotannon inframallikoordinaattori”(työnimike vaihtelee, jonka vastuulla on tietomallien tarkastus, työkonoiden ja tukiaseman tarkkuuden seuranta, toteuma- ja tarkemittaus tietojen hallinta sekä laajemmin katsottuna myös koko hankkeen tiedonhallinta. Jos suunnittelusta ei saada valmiita tietomalleja on myös koordinaattorin vastuulla toteutusmallien, eli rakentamisessa käytettävien mallien teko. Yleisesti ottaen tuotannon inframallikoordinaattorina toimii maanmittausalan henkilö. Vaikka inframallikoordinaattorilla on yllä mainitut vastuut mallipohjaisessa hankkeessa, vaatii mallipohjainen tuotanto koko hankkeen organisaation panosta ja onkin tärkeää, että jokainen hankkeeseen kuuluva tekijä tietää roolinsa ja vastuunsa osana mallipohjaistuo-
tantoa. [11]

Infrahankeen mallipohjaisentuotannon valmisteluun u YIV 2019 ohjeistuksen mukaan tarjousasiakirjoihin ja alan ohjeisiin perehtyminen, työkohteeseen, suunnitelmiin, tietomalliselostukseen ja rakennussuunnitelmamalleihin perehtyminen, mallipohjaisen rakentamisen käyttöönotosta ja sen laajuudesta päättäminen (työkoneohjaus, mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä, digitaalinen luovutusaineisto) ja resurssien kiinnittäminen ja organisointi sekä vastuiden jako. Tämän jälkeen voidaan alkaa perustaa itse työmaata ja mittauksen osalta siihen vaaditaan tekniset valmiudet mallipohjaisen tuotannon aloittamiseen. Tähän kuuluu mittausperustan tarkastaminen (luvussa 3 Mittausperusta) ja suunnitelma-aineiston yhteensopivuuden varmistaminen mittausperustan kanssa. Työmaan perustamiseen kuuluu myös hankkeen työkonekoneohjauksen sekä laadunvarmistuksen järjestelmät ja varmistetaan näiden välisen tiedonsiirron yhteensopivuus. Työkoneohjauksen liittyen tulee myös järjestää työmaalle RTK-GNSS-tukiasema(t) tai palvelut sekä asemoida ne valmiiksi. Työkoneohjauksen käytön valmisteluista ja tarpeista kerrotaan lisää seuraavissa luvuissa. [4, s.120]

4.1 Työkoneohjaus

3D-työkoneohjaus muodostuu työkoneessa olevan reaaliaikaisen paikannuksen sekä digitaalisten toteutusmallien yhteistuloksesta työkoneessa. [8, s10] Työkoneen paikannus perustuu GNSS- tai takymetripaikannukseen sekä työkoneessa oleviin komponentteihin, joilla saadaan aikaan tarkka mittalaite. Tällöin työkoneen terän tai kauhan sijainti voidaan määrittää koordinaateissa. Kun koneeseen sijoitettu anturijärjestelmä laskee reaaliaikaisesti puomien asentoa suhteessa tiettyyn koneessa olevaan pisteeseen, saadaan koko ajan kauhansijaintitietoa esimerkiksi kaivinkoneella kaivettaessa. Kun koneohjausjärjestelmään on vielä syötetty digitaalisessa muodossa oleva toteutusmalli, voidaan työkoneenmittauspistettä verrata näin ollen X, Y, Z sijainniltaan suoraan suunnitelmaan koneohjausjärjestelmän avulla. Tämä luonnostaan helpottaa rakentamista, kun työkone itsessään on tarkkamittalaite ja työkoneen kuljettaja voi itsenäisesti tehdä meneillään olevaa työvaihdetta suunniteltuun tasoon ja sijaintiin ilman mittamiehen merkkejä. Koneohjausjärjestelmää voidaan hyödyntää kaivinkoneissa, puskutraktoreissa, pyöräkoneissa, ruoppauskoneissa, tiehöylissä sekä poraus- ja paalutuskoneissa. Alla olevassa kuvassa 5 näkyvät työkoneen tarvittavat komponentit kaivinkoneessa.



Kuva 5. Koneohjausjärjestelmän komponentin 1.kauha-anturi 2.Kauhan sivuttaiskallistuksen anturi 3. Laservastaanotin 4.kaivuvarren anturi 5. pääpuominanturi 6. runkoanturi 7. Näyttö/tietokonevastaanotin 8. GNSS-vastaanottimet 9. GNSS-antenni [7].

4.2 Koneohjauksen valmistelu työmaalle

Mikäli valmisteltavan hankkeen työmaalle tulee satelliittipaikannuksella toimivia koneohjauslaitteita, tarvitaan työkoneiden käyttöön tukiasema. Satelliittipaikannuksella toimivat koneohjausjärjestelmä työkoneille ovat monilla hankkeilla yleisimpiä niiden kattavan toiminta-alueen, riippumattomuuden sääolosuhteista sekä laitteiston vähäisen siirtelyn vuoksi. Tarkkuuden ollessa hieman huonompi verrattuna takymetriohjattuun järjestelmään, n 1-2cm tarkkuus, soveltuu se siltikin lähes kaikkiin maanrakennuksen työkohteisiin. Tukiasema tarvitaan koneohjausjärjestelmien sijainnin määrittämiseen ja siinä hyödynnetään RTK-paikannusta. RTK-paikannuksessa liikkuva vastaanotin eli työkoneen vastaanotin mittaa vaihehavaintoja satelliiteista sekä vastaanottaa tukiasemavastaanottimen mittaamia ja lähettämiä vaihehavaintoja ja näiden havaintojen avulla liikkuva vastaanotin määrittää reaaliaikaisesti sijaintiaan. [9, s.2; 14, s.319] Tukiasema voi olla työmaan oma kiinteä tukiasema tai vastaavasti verkko-RTK:lla toimiva kaupallisen palvelun tarjoama tukiasema. Suomessa mm. Geotrim ja Leica tarjoavat tällaista verkko RTK-palvelua, jossa työkoneen satelliittivastaanotin saa korjausdatan palveluntarjoaman omasta kiinteästä tukiasemaverkosta mobiiliyhteyden kautta.

Yleensä hiemankin isoimmille infra-hankkeille suositellaan omaa kiinteää tukiasemaa tai asemia, jolloin niihin voidaan liittää kaikki työmaalla toimivat satelliittipaikannuksella toimivat laitteet. Työmaalle perustettava tukiasema sijoitetaan yleensä kiinni konttiin, jolloin sitä on helppo liikutella sekä sinne voidaan sijoittaa tukiasemalle vaaditut laitteet, jotka ovat satelliittivastaanotin, radiolähetin, lähetystehon säätäjän ja virtalähde kuten aurinkokennopaneeli tai akkulaturi sekä akku. [10, s.27] Tämän jälkeen tukiasema kytketään päälle, säädetään tarvittavat asetukset mm. radiotaajuus, jolla tukiasema lähettää omia vaihehavaintojaan sekä syötetään tunnettu piste (työmaalle perustetussa kontissa se on tukiaseman satelliittivastaanottimen mittauspiste), johon tukiasema laskee korjausdataa ja joka on mitattu tarkkuuden puolesta vähintään takymetrilla. Takymetrilla mitattaessa täytyy tukiaseman tarkkuus käydä mittaushenkilön toimesta varmistamassa tukiasemaan kytketyllä RTK-GNSS laitteella hankealueen reunoilla sijaitsevilla peruskiintopisteillä.

Toisena vaiheena voidaan pitää mallien valmistelua työkoneille, jotta koneiden saapuessa ne olisivat valmiina. Ennen käyttöönottoa mallit on tarkastettava ("tuotannon

iframallikoordinaattori”). Lisäksi mallipohjaisessa tuotannossa on käytettävä tiedonhallintaratkaisua, jolla myös mallit saadaan siirrettyä työkoneille. Yksi vaihtoehto on esimerkiksi Infrakit, joka on pilvipalvelu, jolla mallit saadaan siirrettyä toimistolta pilven kautta suoraan työkoneelle. Tämä vaatii siis lähettäjältä sekä vastaanottajalta, internetyhteyden sekä linkityksen pilvipalveluun. Infrakit-pilvipalvelun etuna on se, että se tukee kaikkia laitevalmistajia, jolloin tiedonsiirto onnistuu yhden pilvipalvelimen kautta kaikille työmaan koneohjauslatteille. Infrakitin kautta myös rakentamisen aikana työkoneilla otetut toteutusmapisteet siirtyvät pilveen, josta ne ovat organisaation kaikkien osapuolien tarkasteltavissa. Tällainen pilvipalvelu helpottaa ja nopeuttaa tiedonhallintaa, kun kaikki laitteet on kytketty samaan järjestelmään ja mallit voidaan ladata suoraan toimistolta työkoneilla. Aiemmin tämä on jouduttu tekemään USB-muistitikulla kone kerrallaan, joka vie huomattavasti enemmän aikaa ja lisää virheherkkyyttä.

Viimeisimpänä valmisteluvaiheena voidaan pitää itse työkoneiden valmistelua. Tämä voidaan lähtökohtaisesti tehdä vasta työkoneiden ollessa työmaalla ja juuri ennen töiden alkamista. Tässä vaiheessa otetaan kyseisen koneohjausjärjestelmän alkuperäiset tunnistetiedot ylös, jotta ne voidaan syöttää koneelle takaisin, mikäli niitä muutetaan. Tällaiset tiedot vaihtelevat hieman valmistajan mukaan, mutta yleisimpinä esimerkiksi Novatron Oy:n järjestelmistä tarvitaan koneen alkuperäinen DBSN-numero ja Leica Geosystemsiltä Lukko ID. Tämän jälkeen kone kytketään pilvipalveluun, esimerkiksi aiemmin jo mainittuun infrakittiin. Kytkentä pilvipalveluun voidaan tehdä myös ennen koneen työmaalle saapumista, mutta tällöin edellä mainitut tiedot on saatava etukäteen, ja näiden avulla voidaan suorittaa kytkentä.

Pilvipalvelun kytkentätavat vaihtelevat laitevalmistajan mukaan. Lisäksi eri urakoitsijoilla voi olla erilaisia toimintatylejä muun muassa koneen tunnistetietoihin liittyen. Jos koneen kytkennässä on ongelmia tai se ei onnistu voidaan soittaa laitevalmistajan etätukeen, josta he voivat auttaa ja hoitaa kytkennän. Kun koneen kytkentä on hoidettu, täytyy kyseinen kone lisätä myös pilvipalvelimessa aktiiviseksi halutulle hankkeelle, jolloin palvelun hankkeelle lisätyt tiedot siirtyvä nyt myös koneelle. Tämän jälkeen tarkistetaan ja korjataan koneen asetukset oikeiksi. Tällaisia kriittisiä asetuksia ovat muun muassa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät sekä tukiaseman tiedot ja radiovastaanottimen taajuus, jotta kone vastaanottaa tukiaseman lähettämiä vaihehavaintoja. Ennen kuin työkone voi aloittaa työskentelynsä, on myös tarkistettava työkoneen tarkkuus vertaamalla

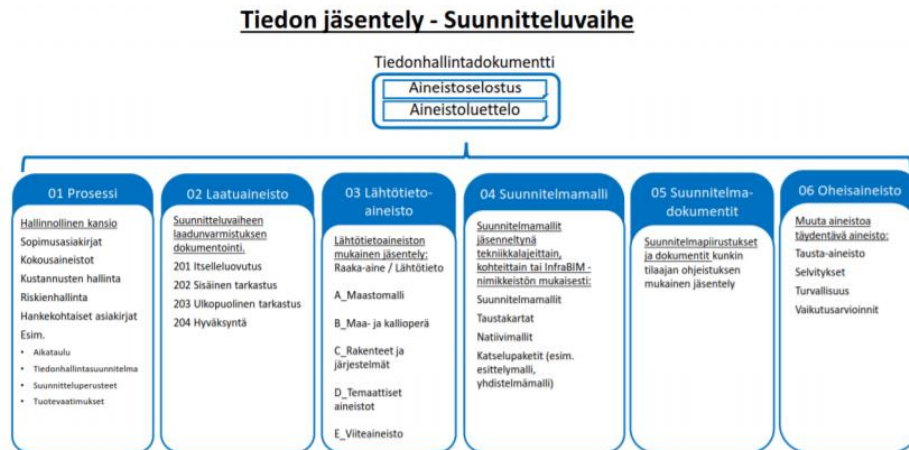
työkoneen mittapistettä takymetrilla tai GNSS -paikannuslaitteella mitattuun pisteeseen. Jos koneen mittapisteen sekä mitatun vertailupisteen koordinaatit tai korkeusarvo ylittävät sallitun raja-arvon, suoritetaan työkoneelle kalibrointi. Tätä tarkkuuden vertailua täytyy jatkaa koko työnkeston ajan viikoittaisella seurannalla. Näiden vaiheiden jälkeen työkoneen 3D-järjestelmä on valmis aloittamaan työt. Tätä ennen on syytä myös perehdyttää työkoneen käyttäjä.

Työkoneen käyttäjällä täytyy olla tiedossa työvaiheen laatuvaatimukset, ja on tärkeää perehdyttää käyttäjä toteumapisteiden mittaamiseen, jotta työn edetessä ja rakenteiden valmistuessa käyttäjä osaa mitata toteumapisteet vaadituista kohdista, vaaditulla tiheydellä sekä että työ on tehty vaadittujen laatuoleranssien sisällä. Myös muut koneohjausjärjestelmän perustoiminnot on syytä käydä läpi mm. projektien ja mallien valinta ja vaihto ja visuaaliset asetukset, jotta käyttäjä saa itselleen toimivimman visuaalisen esityksen ohjaamossa sijaitsevaan näyttöönsä työtä helpottamaan. Tällä hetkellä työkoneen käyttäjien osaamistaso vaihtelee. On käyttäjiä, jotka osaavat käyttää laitteistoja hyvin ja hallitsevat järjestelmien käytön, jolloin perehdytystarve on lähinnä työmaan sisäiset asiat esimerkiksi mallien nimeämiset ja laatuvaatimukset sekä toteumapisteiden mittaustarve. Toiset taas saattavat lähteä lähes nollatasolta, jolloin heille täytyy käydä perinpohjaisemmin edellä mainittujen lisäksi myös kaikki koneohjausjärjestelmän perusasiat. Työkoneen käyttäjien perehdyttäminen on tärkeää koko työmaan toimivuuden kannalta, jotta toiminta on sujuvaa ja järjestelmistä saatava hyöty toteutuu ja jotta toteumatieto on ajantasaista ja riittävää työmaan etenemisen sekä laatuvaatimusten seurannan kannalta. Perehdyttämiseen voi esimerkiksi ottaa avuksi ”ohjevihkon”, joka jaettaisiin työmaan jokaiselle työkoneen käyttäjälle ja siinä olisi selkeä ohjeistus ja tiivistys koneuksille tarvittavista ja vaadittavista toimista ja asetuksista.

4.3 Tiedonhallintaa ja dokumentaatio

Infratyömaan mallipohjaisessa rakentamisessa syntyvän tiedon hallinta ja dokumentaatio on tärkeää ennen kaikkea luovutusainestoa silmällä pitäen, tilaajalle luovutettavien tietojen jälleenkäytön edistämiseksi. YIV 2019 dokumentissa on määritelty hankkeille tiedonhallintaan liittyen jäsentelymallit, jossa on kuusi päätason kansiota. Jäsentelymallien päätasot ovat samat hankkeen erivaiheissa, pääkansioiden sisällöt vaihtelevat kuitenkin hankevaiheiden mukaan, jotta kansiot palvelevat kutakin vaihetta. Aineistot tulee

jäsenellä ja hankkeen edetessä päivittää näiden päätasojen ja alitasojen mukaan. Alla olevassa kuvassa 6 on esitetty YIV 2019 tiedonjäsentelyn kansiorakenne suunnitteluvaiheessa. Kuten aiemmin mainittiin tuotannon inframallikoordinaattorilla tulee olla hallussa myös hankkeen tiedonhallinta. [4, s.111]



Kuva 6. YIV 2019, malliesimerkki tiedon jäsentelyn vaatimuksista suunnitteluvaiheessa [4].

5 Yhteenveto

Infrahankkeiden ja työmaiden perustamisessa mittauksen rooli on merkittävässä osassa, jotta koko hanke saadaan toteutettua oikeellisesti sekä laadukkaasti. Suunnitteluvaiheessa isossa osassa on tietenkin mainittu lähtöaineisto, joka koostuu mm. aiemmin mittaamalla kerätyistä datasta. Suunnitteluvaiheen tarkistus- tai paikkausmittaukset mm. maastomalliin ovat tärkeitä itse suunnittelua varten, jotta suunnitelmat sopivat suoraan maastoon toteutettaviksi. Tähän liittyvät myös mallien tarkastamiset, jotka tehdään aluksi suunnittelutoimiston sisäisesti, mutta on myös tärkeää, että urakoitsijan edustajat (tietomallikoordinaattori) tarkastaa suunnitelmat, jolloin mahdollisia ristiriitoja ja suoranaisia virheitäkin pystytään karsimaan jo ennen rakentamisen alkamista. Jos eteen tulee tilanteita, joissa suunnitelmat ovat virheellisiä, eivät ole sopivia olemassa olevan maaston kanssa tai on ristiriitoja ja tilanteisiin törmätään vasta rakennushetkellä voi se vaikuttaa aikatauluun sekä kustannuksiin, jos joudutaan odottamaan uusia suunnitelmia tai muuten poiketaan sovitusti suunnitelmista.

Rakentamisen laatu ja laadunvarmistus on vahvasti yhteydessä mittauspuolen asioihin. Kartoitus- ja merkintämittauksilla luodaan edellytykset rakentaa järjestelmät, pinnat ja rakenteet suunniteltuihin kohtiin ja vaadituissa toleransseissa, näistä vastuussa on toki mittaja itse. Tämä ei kuitenkaan vielä takaa laatua vaan mittajien mittausten täytyy olla sidottuina hankkeessa olevaan tasokoordinaatistoon sekä korkeusjärjestelmään, joka onnistuu siis oikein tehdyn mittausperustan ansiosta. Näin mittaukset ovat verrattavissa myös suunnitelmiin, jotka on sidottu lähtöaineisto myötä samaan, käytössä olevaan koordinaatistoon, sekä kertovat luotettavasti rakennetun tuotteen laadun.

Laatuun kuuluu myös työkoneissa käytettävien koneohjausjärjestelmien toimivuus. Työkoneiden ollessa mittalaitteita täytyy myös niiden toimivuus ja luotettavuus pystyä varmistamaan. Koneiden tarkkuutta tulee seurata tarkastus mittauksilla, jotka myös täytyy kirjata ylös, jotta mahdollisissa ongelma- tai ristiriitatilanteissa voidaan koneiden mitausta toteumista ja tarkastusmittauksista todeta, että työ on tehty suunnitellusti ja vaadituissa toleransseissa. Tähän kuuluu siis mahdollisen tukiaseman tarkastusmittaukset. Koska GNSS:ää käyttävät työkoneohjausjärjestelmät saavat vaihehavaintoja tukiasemalta ja tämän avulla parantavat paikannuksen tarkkuutta senttimetritasolle, on

tukiaseman tarkistus yhtä tärkeää, koska tukiaseman lähettäessä virheellisiä havaintoja vaikuttaa se kaikkiin työmaan työkoneisiin, jotka ovat kiinni tukiasemassa.

Lähteet

1 Niemioja, Seppo. luentokalvot Tkk 2003. Rakennushankkeen vaiheet ja osapuolet. Verkkoaineisto. <http://arkit.tkk.fi/kurssit/A91181/rakennushankkeen_vaiheet.htm>

2 P. Petäjäniemi, Liikennevirasto, 2015. Kuinka infra-alliansseja kilpailutetaan, tarjotaan ja toteutetaan. Verkkoaineisto. <https://skol.teknologiateollisuus.fi/sites/skol/files/RakFoorumi_Allianssi15PxP.pdf>

3 Maastomalliohje. 12/2015. 3D-WIN.

4 Building Smart Finland, 2019. Yleiset Inframallivaatimukset YIV 1/2019. Verkkoaineisto. <https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/06/YIV-Yleiset-inframallivaatimukset-2019_1.pdf>

5 Äikäs, Arttu. 2016. Inframallin tiedonhallinta tarjouslaskennassa. Insinöörityo, AMK. Metropolian Ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka.

6 Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot Mittausohje. 2017. Liikennevirasto.

7 Novatron Oy. "Mitä on koneohjaus?". Verkkoaineisto. <<http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>>

8 Ruopasa, Jonne. 2018. Mallipohjainen laadunvarmistus aluemaisen infrarakentamisen projektissa. Opinnäytetyö, AMK. Lapin Ammattikorkeakoulu, maanmittaustekniikka.

9 Särkelä, Ari. 2012. 3D-työkoneohjaus ja kustannustehokkuus rovaniemen kaupungin infrarakentamisessa. Opinnäytetyö, AMK. Lapin Ammattikorkeakoulu, maanmittaustekniikka.

10 Ahonen, Toni. 2015. Tietomallipohjainen koneohjaus infratyömaalla. Insinöörityo, AMK. Metropolian Ammattikorkeakoulu, maanmittaustekniikka.

11 Kuusela, Petri. 2018. Tietomalliasiantuntija, Novatron Oy. Blogiteksti. Tietomallien ja avointen tiedonsiirtoformaattien hyödyntämisen sietämätön helppous Novatronin Xsite PRO 3D -koneohjausjärjestelmässä

12 Rakennusteollisuus, 2019. Infrarakentaminen. Verkkoaineisto. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Infrarakentaminen/>

13 JHS 184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. 2017. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelulautakunta.

14 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet.

